

The body structure design optimization based on the C-NCAP side impact

Zhijun Zhu, Xiong hui, Yawei Shao, Dongjin Wang, Zhang Wei, Tangfu Yuan

Chery Automobile Co., Ltd.,

Email: xionghui1@mychery.com

Abstract: Because of smaller space of buffer deformation in the car side structure relative to other structure, the side impact occupant can easily cause serious damage. In this paper, a new car which didn't meet the China C-NCAP is an example. Its side structure is researched and optimized by collision safety technology research. Its program is validated by finite element simulation technology according to the side touch test specification. Through optimization and finite element simulation validation, the relationship can be well balanced between capability of crash and body development cost & weight in product design. Based on guarantee capability of crash, we will have all the best performance and lowest cost.

Keywords: C-NCAP, side impact, Design optimization, Lightweight

基于 C-NCAP 侧面碰撞的车身结构优化设计

朱志军, 熊辉, 邵亚伟, 汪东进, 张伟, 袁堂福

奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 241009,

Email: xionghui1@mychery.com

摘要: 汽车侧面结构相对其他结构缓冲变形空间小, 侧面碰撞极易造成乘员较大伤害; 本文以某款未满足中国新车评价规范 (C-NCAP) 碰撞要求车型为例, 利用碰撞安全技术对其侧面结构进行研究和结构优化, 按照侧碰试验规范利用有限元仿真技术按对其进行方案验证。通过方案优化和有限元仿真技术验证, 可以在产品设计阶段很好地平衡车身开发成本、重量同碰撞性能的关系, 做到保证碰撞性能的基础上各项性能最优, 成本最低。

关键字: C-NCAP, 侧面碰撞, 优化设计, 轻量化

1 引言

全球每年死于道路交通事故的人数将近 120 万, 而受伤的人数则可能高达 5000 万[1-3]。如果不采取新措施, 预计在 2000 年至 2020 年间, 全球道路交通死亡和受伤人数将飙升 65% 左右, 成为导致人类第三大死亡原因。

在各种汽车碰撞事故中, 汽车侧面碰撞事故仅次于正面碰撞。来自美国公路保险安全协会 (IIHS) 的统计, 2009 年美国的客车乘员死亡人数中, 27% 是侧面碰撞导致的[4]。由于乘员与车门内板之间距离仅有 20~30cm, 车身侧面一旦受到碰撞, 乘员将受到强烈贯入的冲击载荷作用, 乘员损伤级别一般在 AIS3+ 及以上, 人体损伤涉及到头部、胸部、腹部、骨盆以及上下肢。在车对车侧面碰撞中约 34% 乘员的头部损伤级别在 AIS3 以上、胸部损伤比例则更是高达 51%, 腹部或骨盆为 25% [5]。

中国侧面碰撞试验法规 GB20071 《汽车侧面碰撞的乘员保护》于 2006 年开始实施。但法规门槛相对较低, 而中国汽车技术研究中心推出了中国新车评价规程 C-NCAP, 作为顾客购车时评价该车安全性的唯一标准。其中侧碰评分占总评分的 1/3。因此对侧面碰撞试验和车身结构的研究, 对于提高车辆侧面碰撞的安全性具有重要意义。

2 C-NCAP 侧碰试验规程

采用可变形移动壁障小车进行侧面碰撞试验，如图 1 所示。试验按照 C-NCAP 试验程序进行试验，在移动台车前端加装可变形蜂窝铝，移动壁障行驶方向与试验车辆垂直，移动壁障中心线对准试验车辆 R 点，碰撞速度为 50-51km/h（试验速度不得低于 50km/h）。移动壁障的纵向中垂面与试验车辆上通过碰撞侧前排座椅 R 点的横断垂面之间的距离应在±25mm 内。在驾驶员位置放置一个 EuroSID II 型假人，在第二排座椅被撞侧放置 SID-II_s（D 版）假人，用以测量驾驶员及第二排人员受伤害情况。对于两门单排座车型，仅在驾驶员位置放置一个 EuroSID II 型假人，以测量人员受伤害情况[6]。

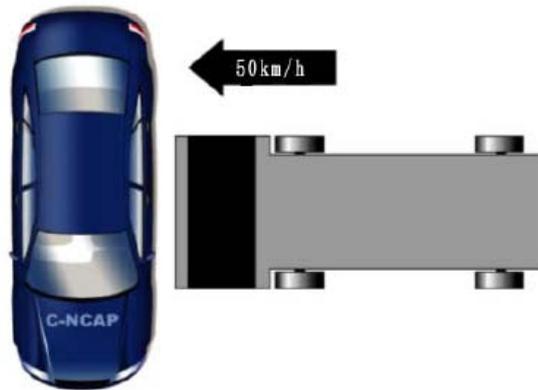


Figure 1: C-NCAP side impact
图 1: C-NCAP 侧面碰撞示意图

在 C-NCAP 试验中，主要评价指标为：（1）前排假人头部合成加速度决定的头部伤害值 HIC；（2）前排假人胸部变形峰值 RDF 和粘性指标 VC；（3）前排假人腹部受力峰值 APF；（4）前排假人骨盆合力峰值 PSPF；（5）后排假人胸部变形峰值 RDF；（6）后排假人骨盆合力峰值 PSPF。具体得分情况见下表 1。

Table 1: The overall score of the side impact test
表 1: 侧面碰撞试验的总体评分原则

部位		部位罚分项	得分	总分
前排假人	头	-	0~4	0~18
	胸	1) 若背板力Fy值过大，则胸部得分应被修正，修正值为0~-2 2) 若T12的Fy和Mx值过大，则胸部得分应被修正，修正值为0~-2	0~4	
	腹	-	0~4	
	骨盆	-	0~4	
	约束系统	前排假人所放置位置的安全带，若在试验过程中失效，则减去1分	0~-1	
第二排女性假人	头	-	0~4	
	骨盆	-	0~4	
	约束系统	第二排假人所放置位置的安全带，若在试验过程中失效，则减去1分	0~-1	
总体罚分		对于两侧的每一个车门，若在碰撞过程中开启，则分别减去1分	总体罚分最高限定为4分	
		碰撞试验后，若燃油供给系统存在液体连续泄漏且在碰撞后5分钟平均泄漏速率超过30g/min，则减去2分		

备注	对于两门单排座车型，仅计算前排假人评分，第二排女性假人评分以满分（2分）计入该项试验总分。
----	---

3 侧碰性能理论分析

碰撞过程中乘员所承受的碰撞加速度以下公式表示：

$$a = F / M \quad (1)$$

其中：a----为车体的撞击减速度，单位 m/s²；F----为撞击力，单位 N；M---为车辆的总质量，单位 Kg；

在碰撞车辆质量一定的情况下，应当限制碰撞过程中车辆与障碍壁间的相互作用力大小。根据动量、能量守恒定理：

$$Ft = M \cdot \Delta v \quad (2)$$

$$E = 2Mv^2 = K s'^2 \quad (3)$$

式中：K-为车身变形刚度，单位 N/m；s' -为车身碰撞前后变形量，单位 m， Δv -为速度减量（碰撞前后速度差值）单位 m/s；v-为速度，单位 m/s；

碰撞过程中的平均作用力为：

$$F = Ks = Ma \quad (4)$$

结合运动学方程：

$$v^2 = 2as \quad (5)$$

从公式（2）可以看出，在碰撞速度一定的情况下，要降低相互作用力 F，需要增大碰撞相互作用的时间 t。

从公式（4）和（5）可以看出要满足碰撞法规的要求，降低碰撞减速度，这就要求车辆具有较小的强度和刚度值，保证车辆在碰撞过程中产生足够大的变形进行吸能；另外，为了保证车内乘员的安全生存空间，需要乘员舱变形尽可能小，这就要求车辆有足够的强度。

4 某车型 C-NCAP 侧碰结果及分析

某车在样车数据设计阶段，通过 CAE 安全仿真技术进行建模，并按照 C-NCAP 试验工况进行有限元仿真加载计算。经过后处理分析 B 柱门槛处主结构变形如下图 2 所示。可以看出 B 柱并未折弯，后座椅横梁处截面 B-B 的门槛变形较大，前座椅横梁处截面 A-A 变形次之。经过经验分析 B 柱强度设计满足要求，门槛处为空腔结构相对设计偏弱，形成了弱化点。在碰撞发生时，B-B 和 A-A 处溃缩吸能造成了 B 柱整体向车辆内部方向平移。通过分析侵入速度满足设计要求，这是因为吸能良好导致侵入速度下降，然而吸能溃缩导致此处侵入量超差。因此结构进行加强优化。

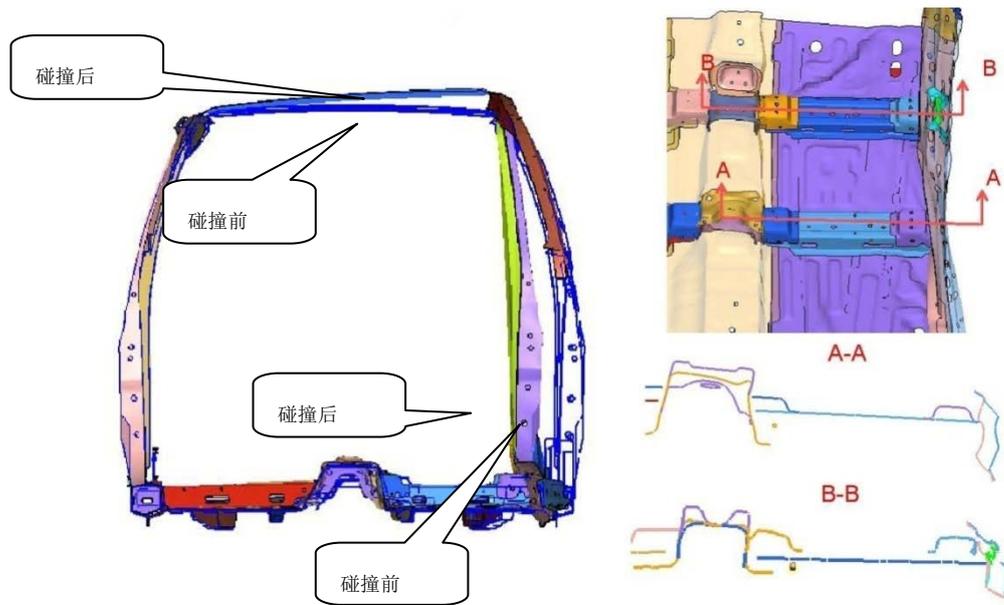


Figure 2: The side sill deformation from a vehicle side impact

图 2 某车侧碰门槛处变形图

主要结构 B 柱和顶棚搭接处, 结合图 2 和图 3 可以看出, 红色圈示部位变形明显。而前后门的防撞横梁均匀变形, 并无明显弯点。经验分析, 防撞横梁在碰撞中很好地传递能量, 而 B 柱和顶横梁的搭接处结构设计偏弱, 碰撞过程中溃缩吸能。同门槛处一样吸能良好导致侵入速度下降, 但是侵入量超差。因此需要进行结构加强优化。

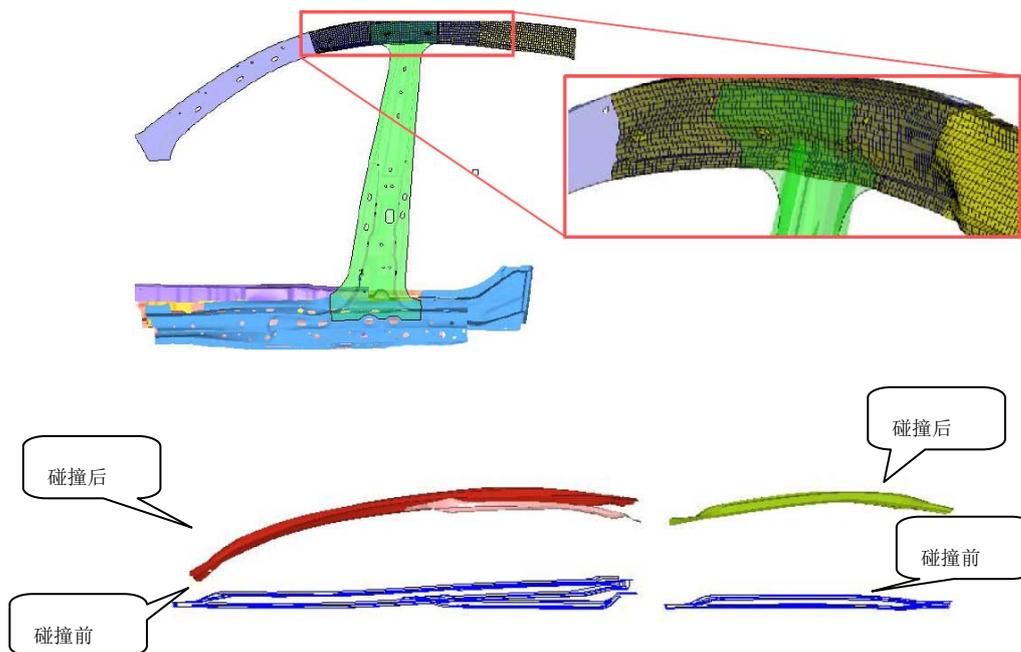


Figure 3: Roof panel and impact-beam deformation from a vehicle side impact

图 3 某车侧碰顶棚和防撞横梁变形图

侵入量和侵入速度分析如图 4 和表 2 所示。第 3 点和第 4 点不满足设计要求。分析主要是上述两处主结构变形较大导致。由于 B 柱 3 点和 4 点的侵入量超目标 20% 以上, 对应假人胸部和腹部的侵入量偏大。B 柱处 5-8 点超目标值 0%-20%, 最终导致假人伤害值上升而失分。

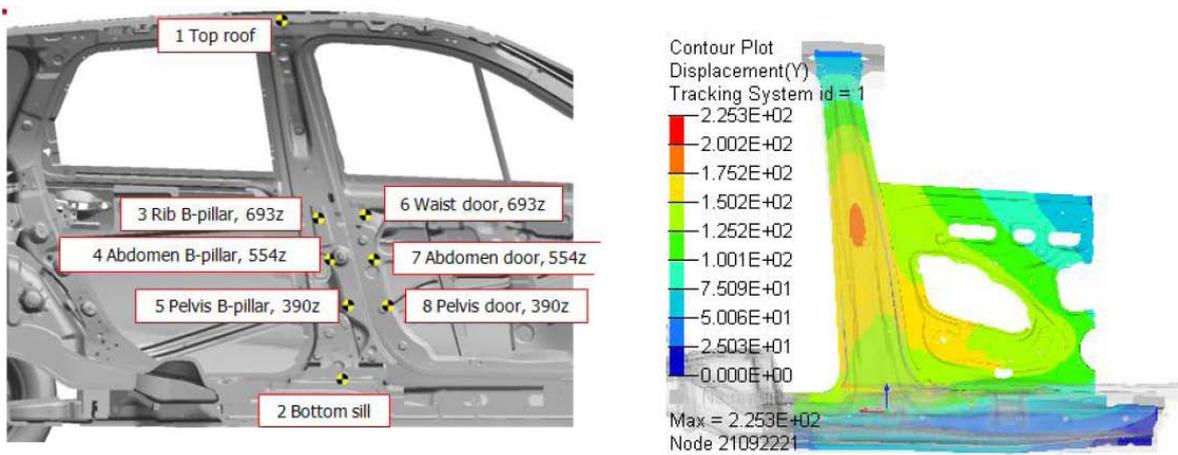


Figure 4: Force analysis of a vehicle side impact

图 4 某车侧碰受力分析云图

Table 2: The intrusion and speed meter of a vehicle side impact

表 2 某车侧碰侵入量和侵入速度表

测量点		侵入量 (mm)		侵入速度 (mm)	
		目标	实际	目标	实际
B-Pillar	1	<125	47	<7.5	2.5
	2	<200	150	<7.5	6.5
	3	<125	174	<7.5	6.5
	4	<125	169	<7.5	6.1
	5	<155	158	<7.5	5.4
Frt door	6	<125	132	<7.2	5.8
	7	<125	134	<7.2	5.7
	8	<155	162	<7.2	7.9

注：1、序号和图 4 标示点对应

2、小于目标值标注绿色，大于目标值 0-20% 标注黄色，大于目标值 20% 以上标注红色

5 某车型结构优化及碰撞性能提升

针对 B 柱门槛处主结构变形，在门槛和前座椅横梁以及后座椅横梁处各增加一个碰撞盒。碰撞盒的设计既要吸能又要对侧碰力进行分散传导到座椅横梁上。本次根据经验优化设计如图 5 所示。

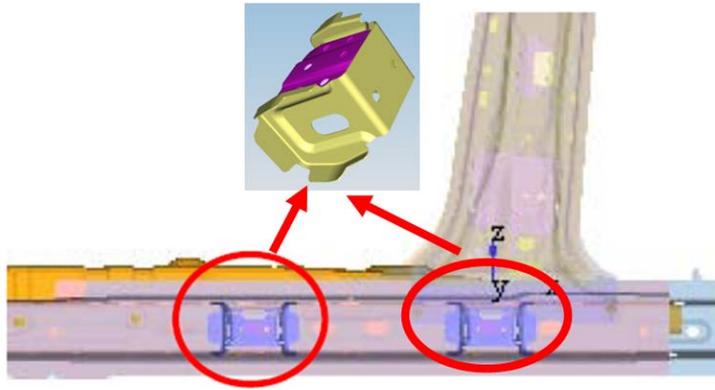


Figure 5: Optimization design of a car's side sill

图 5 某车门槛处优化设计

针对 B 柱和顶棚搭接处主结构变形, 延长 A 柱上边梁加强板到 B 柱后段。可以在碰撞时候使 B 柱承受的碰撞力传递到 A 柱上边梁上, 并分导到 A 柱和顶棚的前中顶横梁上面。如图 6 所示。

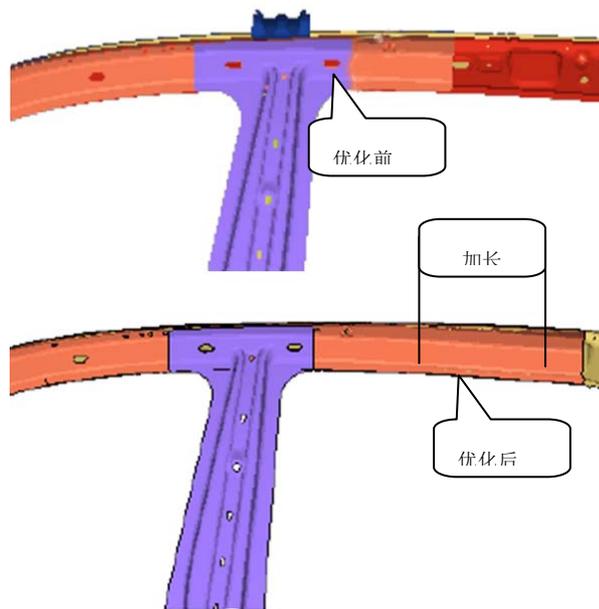


Figure 6: Optimization design of a car's sideroof panel

图 6 某车顶棚处优化设计

通过上述主要结构改进, 其中动态侵入量和侵入速度如表 3 所示。对比表中的 1-8 点可以看出, 1-8 点侵入量得到了有效的提升, 平均提升量 19.5%。1-7 点侵入速度皆有增加, 增加量平均 27%。侵入速度增加是因为上述两处结构得到加强, 吸能效果相对之前有所减弱, 其中能量传导得到加强, 因此侵入量减少而侵入速度相对有所增加。这也是符合碰撞能量的传递和吸收原理。3 点的侵入速度本轮分析超差 0.1, 因为超差很小尚在计算误差范围以内, 并且其他点都已满足要求, 因此判定本次合格。

Table 3: Comparison of the intrusion and speed meter after design optimization

表 3 设计优化后侵入量和侵入速度对比表

测量点		侵入量 (mm)				侵入速度 (mm)			
		目标	上一版	优化后	提升量	目标	上一版	优化后	提升量
B-Pillar	1	<125	47	31	34.0%	<7.5	2.5	5.1	104.0%
	2	<200	150	116	22.7%	<7.5	6.5	7.4	13.8%
	3	<125	174	124	28.7%	<7.5	6.5	7.6	16.9%
	4	<125	169	124	26.6%	<7.5	6.1	7.4	21.3%
	5	<155	158	131	17.1%	<7.5	5.4	6.9	27.8%
Frt door	6	<125	132	116	12.1%	<7.2	5.8	6.2	6.9%
	7	<125	134	121	9.7%	<7.2	5.7	6.2	8.8%
	8	<155	162	154	4.9%	<7.2	7.9	7.1	-10.1%

注：1、序号和图 4 标示点对应

2、小于目标值标注绿色，大于目标值 0-20%标注黄色，大于目标值 20%以上标注红色

6 结论

通过上述针对某车理论分析和方案验证，可得到如下经验：

侧碰过程中既保证车辆在碰撞过程中产生足够大的变形进行吸能，另外还需要保证车辆有足够的刚度和强度来分导传递碰撞能量。车辆设计需要在两者之间进行平衡。

利用碰撞有限元仿真技术，可以在产品设计阶段进行碰撞安全分析和方案优化设计验证，可以节省车身开发成本、提升碰撞安全性能、降低开发风险。

对于碰撞有限元仿真技术的研究及其动态响应研究也是今后耐撞性研究课题的关键方向，随着耐撞性研究的不断深入，研究结果也将更准确和实用。

参考文献(References)

- [1] Peden, M.et al., "World Report on Road Traffic Injury Prevention,"World Health Organization ,201410-15
- [2] Kpoint,E.and Cropper,M., "Traffic Fatalities and Economic Growth,"Washington,DC,The World Bank,2003(Policy Research Working paper No.3035)
- [3] Murray,C.and Lopez,A., "The Global Burden Of Disease:A Comprehensive Assessment of Mortality and Disability from Diseases,Injuries and Risk Factors in 1990 and Projected To 2020",Boston,MA, Harvard School of Public Health,1996.
- [4] Teoh,E.and Lund A., "IIHS Side Crash Test Ratings and Occupant Death Risk in Real World Crashes"Insurance Institute for Highway Safety Arlington,VA,2011
- [5] Nationalhighwaytrafficsafetyadministration.ThenewcarAssessmentprogramsuggestedapproachesforfutureprogrameenhancements[R].USA:FARS, 2007
- [6] C-NCAP management rules(2015 Edit) [S]. China Automotive Technology Research Center, 2015.
(C-NCAP 管理规则 (2015 版) ,[S].中国汽车技术研究中心, 2015)